

ANALISIS BANGUNAN PENGAMAN PANTAI BREAKWATER TIPE CAMPURAN (STUDI KASUS PELABUHAN TELUK BAYUR KOTA PADANG)

Yudhid Purwa Waskita¹⁾, Besperi¹⁾, Gusta Gunawan¹⁾

¹⁾Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik UNIB

Jl. W.R. Supratman Kandang Limun, Kota Bengkulu 38371

Corresponding author : yudhidwaskita@gmail.com

Abstrak

Pelabuhan Teluk Bayur Kota Padang memiliki bangunan pemecah gelombang yang berfungsi mengurangi sebagian energi gelombang yang dapat merusak bangunan pelabuhan. Seiring berjalan waktu, pelabuhan mengalami gelombang yang cukup besar, sehingga menyebabkan bangunan pemecah gelombang tersebut mengalami kerusakan dan perubahan bentuk. Tujuan penelitian ini adalah untuk menganalisis bangunan pemecah gelombang yang ada di pelabuhan Teluk Bayur dengan menggunakan pemecah gelombang tipe campuran. Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data sekunder berupa data angin selama 10 tahun terakhir (2009–2018) diperoleh dari Badan Meteorologi Klimatologi Geofisika, dan data pasang surut selama 5 tahun (2014, 2015, 2016, 2017, dan 2018) diperoleh dari PT. Pelabuhan Indonesia II Teluk Bayur Kota Padang. Data primer berupa pengamatan dan pengukuran langsung di lapangan. Hasil yang diperoleh adalah $H_s = 3,34$ m, $T_s = 7,56$ detik, elevasi mercu = 5,374 m, berat lapis pelindung satu $W_1 = 3,419$ ton, tebal lapis pelindung satu $t_1 = 2,519$ m, berat lapis pelindung dua $W_2 = 341,93$ kg, tebal lapis pelindung dua $t_2 = 1,169$ m, berat lapis pelindung tiga $W_3 = 17,09$ kg, lebar puncak pemecah gelombang sebesar 2,52 m, jumlah batu lapis pelindung tiap 10 m^2 sebanyak 12 buah. Bentuk *breakwater* dilapangan dengan tinggi elevasi 2 meter dan lebar 3 meter. Hasil perbandingan antara dimensi analisis dengan dimensi *existing* menunjukkan bahwa analisis dimensi lebih besar daripada dimensi existing.

Kata kunci: Pelabuhan Teluk Bayur, Analisis, Tipe Campuran

Abstract

Teluk Bayur port Padang City has breakwater used to reduce half of energy waves who could damage port building. As time goes by, port were affected big waves, that made breakwater damaged and deformation. The purpose of this study was to analyze structure of breakwater buildings in Teluk Bayur port with breakwater mixed type. Data used in this study are secondary data in the form of wind data for the past ten years (2009–2018) obtained from Badan Meteorologi Klimatologi Geofisika and data on tides for five years (2014, 2015, 2016, 2017 dan 2018) obtained from PT. Pelabuhan Indonesia II Teluk Bayur Padang City. Primary data in the term of observations and direct masurements in the field. The resul of the calculation are $H_s = 3,34$ meters, $T_s = 7,56$ second, peak elevation = 5,374 meters, weight of protection layer one $W_1 = 3,419$ tons, protective layer thickness one $t_1 = 2,519$ meters, weight of protection layer two $W_2 = 341,93$ kg, protective layer thickness two $t_2 = 1,169$ meters, weight of protection layer three $W_3 = 17,09$ kg, the peak width of breakwater is 2,52 meters, the number of protective layers each 10 m^2 is 12 pieces. Breakwater form in Teluk Bayur with height elevation is 2 meters and width breakwateris 3 meter. The comparison between the dimensions of analysis and the existing dimensions shows that the dimensions of analysis is larger than existing dimensions.

Keywords: Teluk Bayur Port, Analysis, Mixed Type

PENDAHULUAN

Latar belakang

Pembangunan infrastruktur pelabuhan di Indonesia dapat memberikan pengaruh pada aktivitas masyarakat terhadap akses sumber daya dalam jual dan beli, sehingga dapat mendorong pertumbuhan ekonomi masyarakat. Kota Padang memiliki pelabuhan sebagai pendorong ekonomi masyarakat, yaitu pelabuhan Teluk Bayur. Secara geografis, pelabuhan Teluk Bayur terletak pada 1°00'04" S dan 100°19'03" E dengan luas area 534 Ha .

Pelabuhan Teluk Bayur di Kota Padang, tentunya dilengkapi dengan bangunan pengaman pantai/(*breakwater*) sisi miring yang telah ada sejak tahun 2004

Seiring berjalannya waktu, terjadi perubahan gelombang di Pantai Padang. Dari hasil pengukuran terdapat perbedaan antara pengukuran langsung dilapangan dengan pengukuran menggunakan peta. Perbedaan ini disebabkan oleh faktor alam yang terjadi selama penelitian, dimana penelitian terjadi gelombang yang cukup besar sehingga mengakibatkan tingkat abrasi lebih besar dari pada penggambaran abrasi berdasarkan peta (Rifardi, 2012). Dalam hal ini pembuatan *breakwater* tipe tegak sebagai alternatif diperlukan tempat pembuatan koison yang luas dan diperlukan peralatan yang besar. Selain itu pemecah gelombang tipe tegak juga memiliki kekurangan seperti elevasi bangunan puncak tinggi, tekanan gelombang besar dan erosi yang terjadi di kaki pondasi, serta apabila terjadi kerusakan akan sulit untuk diperbaiki.

Untuk menanggulangi fenomena yang terjadi di pelabuhan Teluk Bayur, maka perlu perancangan ulang dengan menggunakan bangunan *breakwater* tipe campuran. Hal ini dilakukan karena *breakwater* campuran memiliki keuntungan diantaranya pelaksanaan pekerjaan cepat dan kemungkinan kerusakan pada waktu pelaksanaan kecil. *Breakwater* tipe campuran terdiri dari *breakwater* sisi tegak yang dibuat diatas pemecah gelombang tumpukan batu (sisi miring) sebagai pondasi (Kramadibrata, 1985). Tumpukan batu tersebut dapat

mengurangi dampak erosi kaki pondasi dari *breakwater* tipe tegak.

Tujuan penelitian

Penelitian ini memiliki beberapa tujuan, antara lain :

1. Mengetahui tinggi gelombang signifikan (H_s) dan periode gelombang signifikan (T_s).
2. Menganalisis dan mendesain bangunan *breakwater* yang ada di pelabuhan Teluk Bayur, Kota Padang.
3. Mengetahui perbandingan analisis bangunan *breakwater* tipe campuran dengan *breakwater* existing yang sudah dibangun di pelabuhan Teluk Bayur, Kota Padang.

Batasan masalah

Penelitian ini memiliki beberapa batasan masalah, antara lain :

1. Lokasi penelitian dilakukan di Pelabuhan Teluk Bayur.
2. Hanya menganalisis jenis bangunan *breakwater* tipe campuran di Pelabuhan Teluk Bayur.
3. Data pasang surut selama 5 tahun yaitu dari tahun 2014-2018 dan data angin selama 10 tahun yaitu dari tahun 2009-2018.
4. Pengukuran dan pengamatan langsung di lapangan yaitu pencatatan tinggi gelombang dengan menggunakan alat ukur *total station*, dan alat untuk pengambilan data di lapangan dianggap sudah *valid*.

METODE PENELITIAN

Lokasi penelitian

Lokasi penelitian tentang Analisis Bangunan Pengaman Pantai *Breakwater* Tipe Campuran berada di Pelabuhan Teluk Bayur yang terletak pada koordinat 1°00'04" S dan 100°19'03" E.

Studi Pustaka

Studi pustaka meliputi pengumpulan dan mempelajari berbagai pustaka, data dan hasil-hasil penelitian, perencanaan dan kajian yang telah dilakukan seperti buku, skripsi, makalah, dan jurnal.

Survei Lapangan

Studi observasi dilakukan pengamatan secara langsung terhadap struktur bangunan pengaman pantai (*breakwater* tipe campuran) di Pelabuhan Teluk Bayur.

Metode pengumpulan data

Pengumpulan data yang dilakukan dalam menganalisis struktur bangunan pengaman pantai (*breakwater* tipe campuran) dilakukan secara primer yaitu pengamatan secara langsung dan secara sekunder yang berupa data angin, data pasang surut dan data topografi yang didapat dari instansi terkait.

Data primer

Adapun data primer pada penelitian adalah data tinggi gelombang yang diperoleh dari hasil pengukuran tinggi gelombang secara langsung dilapangan. Pengambilan data tinggi gelombang dilakukan pada saat pasang surut purnama. Waktu pengambilan data tinggi gelombang tersebut dapat ditentukan berdasarkan data pasang surut PT. Pelabuhan Indonesia II Teluk Bayur

Data sekunder

Data Sekunder pada penelitian ini adalah data angin yang di dapat dari Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG) Maritim Teluk Bayur. Data angin maksimum dan arah angin yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data 10 tahun terakhir yaitu dari tahun 2009-2018 serta data pasang surut selama 5 tahun terakhir yaitu dari tahun 2014-2018.

Metode pengolahan data

Metode pengolahan data pada penelitian ini adalah dengan mengolah data yang ada yaitu data primer dan data sekunder dengan menggunakan rumus yang ada.

Pengolahan data primer

- a. Data hasil survei tinggi gelombang disusun berdasarkan waktu pencatatan.
- b. Menentukan tinggi gelombang 33%.
- c. Mengurutkan data dari yang terbesar hingga yang terkecil.
- d. Menghitung rata-rata data terbesar untuk mendapatkan nilai H_s (tinggi gelombang signifikan) dan T_s (periode gelombang signifikan).

Pengolahan data sekunder

1. Analisis data angin
2. Analisis data pasang surut

Tinggi gelombang signifikan dan periode gelombang signifikan

Peramalan tinggi gelombang berdasarkan data angin yang didapat dari data sekunder yang ada di Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG) Maritim Teluk Bayur, serta dari perhitungan H_s pencatatan tinggi gelombang secara langsung di lapangan. Dari kedua data tinggi gelombang yang didapat dibandingkan, kemudian data tinggi tertinggi yang digunakan sebagai tinggi gelombang signifikan (H_s) dan periode signifikan (T_s) untuk perhitungan struktur.

Perhitungan analisis desain bangunan *breakwater* tipe campuran

Perhitungan analisis desain bangunan pengaman pantai dihitung setelah mendapatkan nilai tinggi gelombang signifikan (H_s) dan periode gelombang signifikan (T_s) dengan menggunakan rumus yang sudah.

Peralatan dan tenaga penelitian

Peralatan, tenaga, dan bahan penelitian yang diperlukan dalam pengambilan data dan pengolahan data adalah:

1. Tenaga bantu dalam survei
Tenaga bantu dalam survei terdiri dari teman-teman angkatan.
2. *Total Station*
Alat ukur yang digunakan untuk mengukur tinggi gelombang.
3. *Stopwatch*
Alat ini digunakan untuk menghitung waktu/periode gelombang pada survei pencatatan tinggi gelombang secara langsung dilapangan.
4. *Software Autocad*
Software Autocad digunakan untuk menggambar mawar angin dan gambar bangunan pantai.
5. Kalkulator alat tulis, dan laptop yang digunakan untuk pengolahan data.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis data angin

Data kecepatan angin maksimum dan arah angin dicatat dalam pencatatan bulanan

selama 10 tahun terakhir mulai dari tahun (BMKG) Maritim Teluk Bayur. Data 2009-2018 yang didapatkan dari Badan kecepatan dan arah angin dapat dilihat pada Meteorologi Klimatologi dan Geofisika Tabel 1.

Tabel 1. Data Kecepatan dan Arah Angin Maksimum (m/det)

	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Jan	4	5	5	5	7	4	6	5	6	8
	SW	SW	N	NE	N	N	NN	W	SW	NW
Feb	5	4	5	5	4	5	6	9	3	6
	N	S	N	S	N	N	N	NE	S	N
Mar	5	5	4	18	6	5	5	4	6	7
	S	SW	N	N	N	SE	N	N	SW	N
Apr	8	5	4	6	4	4	5	8	5	5
	NW	S	N	NE	N	N	N	N	N	N
Mei	5	4	5	8	5	7	10	3	15	4
	SW	N	S	NE	N	N	N	N	N	N
Jun	8	5	5	6	4	8	11	15	5	6
	NW	S	N	N	N	N	SW	S	N	N
Jul	5	5	5	5	5	8	6	5	5	7
	N	NE	S	SW	N	S	S	N	N	N
Agt	4	5	7	4	4	5	6	10	5	5
	S	N	N	S	N	SW	N	E	N	N
Sept	5	4	4	5	5	5	5	9	4	5
	N	SW	N	S	N	S	N	E	N	N
Okt	5	8	5	5	4	8	5	3	5	5
	S	N	SW	N	N	N	N	S	N	N
Nov	4	5	4	18	5	6	5	8	11	4
	N	N	N	N	N	SW	N	E	W	N
Des	9	8	8	7	4	5	8	4	6	5
	N	N	N	N	N	S	S	N	N	N

Sumber : Badan Meteorologi Dan Geofisika (BMKG) Maritim Teluk Bayur, 2019

Penentuan persentase angin tiap arah

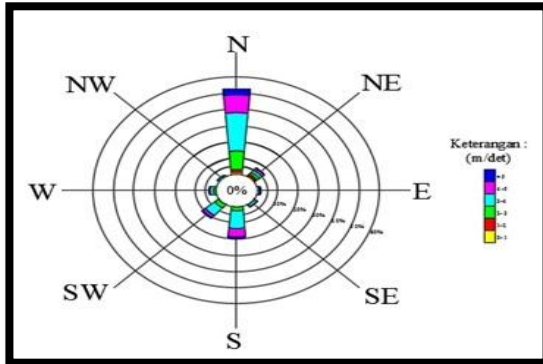
Tabel 2. Jumlah Arah Angin Per Kecepatan 1 m/det

Kecepatan (m/s)	Arah Angin (%)							
	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
0-1	1,369	0,630	0	0	0	0	0	0
1-2	1,752	1,013	0	0	0,027	0,055	0	0
2-3	11,336	1,670	0,438	0,520	2,437	2,766	1,177	0,383
3-4	23,521	1,862	0,602	1,232	10,926	6,106	1,725	0,575
4-5	11,583	1,150	0,383	0,301	5,394	1,643	0,274	0,219
> 5	3,724	0,657	0,246	0,110	1,123	0,602	0,301	0,164
Jumlah	53,29	6,98	1,67	2,16	19,91	11,17	3,48	1,34
Total	100%							

Sumber :Hasil Perhitungan Sendiri, 2019

Penentuan arah angin dominan dengan diagram mawar angin

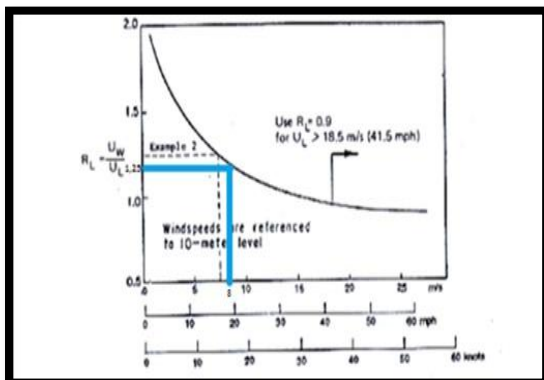
Mawar angin atau *wind rose* adalah diagram hasil pengelompokan angin dan arah angin setiap bulan selama beberapa tahun terakhir (Triatmodjo, 1999). Arah utara (*north*) merupakan arah yang dominan datangnya angin, sesuai diagram mawar angin sehingga karakter angin dapat dibaca dengan cepat seperti yang terlihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram Mawar Angin (*Wind Rose*) (Hasil Olahan Sendiri, 2019)

Konversi kecepatan angin

Hasil perhitungan faktor tegangan angin untuk bulan April tahun 2009 dimana kecepatan angin yang terjadi (U_L) adalah 8 m/s dan arah angin adalah barat laut (*north west*), dengan menarik garis vertikal dari kecepatan angin (m/det) menyinggung garis lengkung grafik penentuan nilai tegangan angin kemudian tarik garis horizontal kearah R_L seperti pada Gambar 2.



Gambar 2. Penentu Faktor Tegangan Angin (Reeve, et al, 1984)

U_L yang diperoleh dari hasil perhitungan sebesar 9 m/det, dengan Gambar 2. kita dapatkan R_L sebesar :

$$R_L = \frac{U_w}{U_L} = 1,25$$

Kemudian menghitung kecepatan angin di laut (U_w) dengan menggunakan rumus :

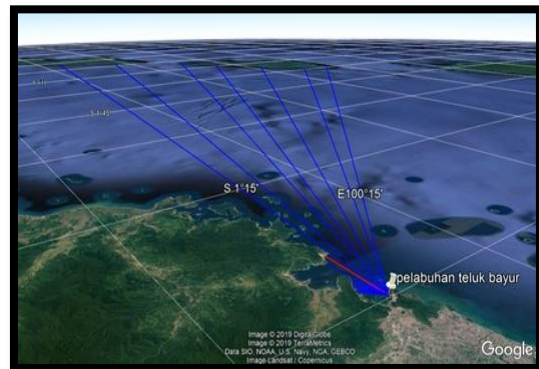
$$U_w = R_L \times U_L = 1,25 \times 8 = 10 \text{ m/det}$$

Hasil perhitungan U_w , digunakan untuk menentukan faktor tegangan angin (U_A) yang dihitung menggunakan rumus :

$$U_A = 0,71 U_w^{1,23} = 0,71 \times 10^{1,23} = 12,06 \text{ m/det}$$

Penentuan *fetch* efektif

Fetch adalah area laut yang dimana angin bertiup dibatasi oleh bentuk daratan mengelilingi laut dan memiliki kecepatan angin yang relatif konstan (Coastal Engineering, 2004). *Fetch* efektif akan digunakan pada peramalan gelombang untuk mengetahui tinggi dan periode gelombang signifikan. Panjang *fetch* ditentukan berdasarkan arah angin dominan yaitu arah utara.



Gambar 3. Peta *Fetch* dari Arah Utara (Hasil Perhitungan Olahan Sendiri, 2019)

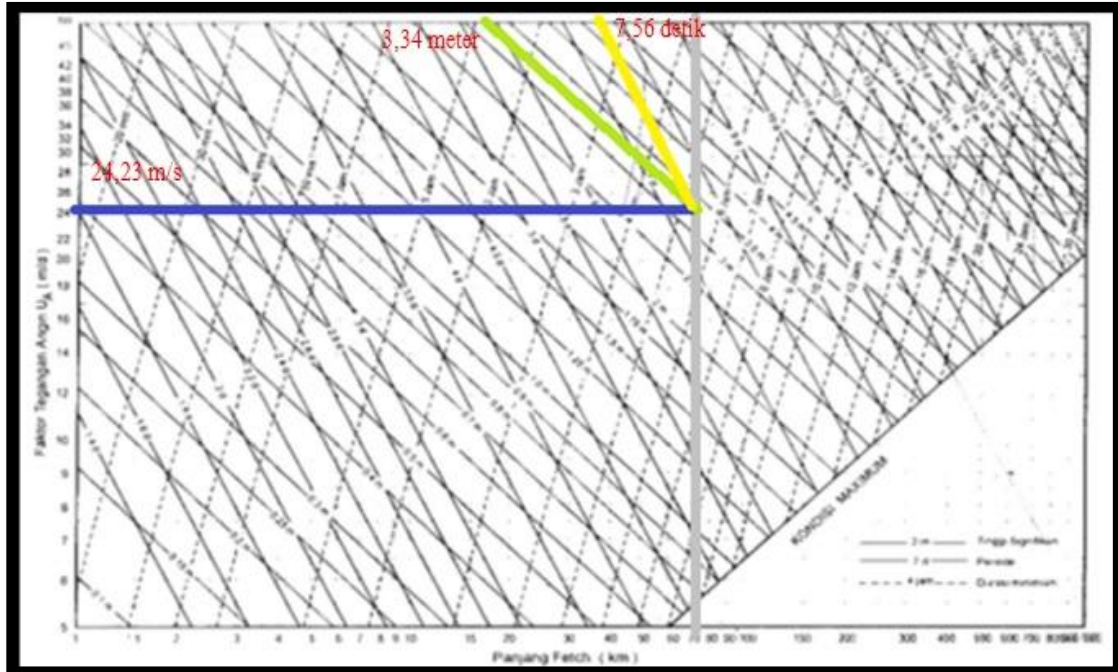
$$F_{\text{eff}} = \frac{\sum X_i \cos \alpha}{\sum \cos \alpha} = \frac{1021,79}{13,382} = 76,36 \text{ km}$$

Peramalan tinggi gelombang signifikan (H_s) dan periode gelombang signifikan (T_s)

Proses peramalan tinggi gelombang signifikan di laut dalam (H_s) dan periode gelombang signifikan di laut dalam (T_s) dengan menggunakan grafik, dapat dilihat contoh peramalan berikut untuk bulan Maret tahun 2012.

Peramalan tinggi gelombang signifikan (H_s) dan periode gelombang signifikan (T_s)

Proses peramalan tinggi gelombang signifikan di laut dalam (H_s) dan periode gelombang signifikan di laut dalam (T_s) dengan menggunakan grafik, dapat dilihat contoh peramalan berikut untuk bulan Maret tahun 2012.



Gambar 4. Grafik Peramalan Tinggi Gelombang (Triadmojo, 1999)

Hasil perhitungan rata-rata nilai tinggi gelombang dan periode gelombang yang terjadi 10 tahun terakhir dapat kita lihat seperti pada Tabel 3.

Tabel 3. Peramalan Tinggi Gelombang (H_s) dan Periode Gelombang (T_s) rata-rata tahun 2009-2018.

Tahun	Kec. Maksimal (m/s)	RL	UW(m/s)	UA(m/s)
2009	9	1,19	10,71	13,12
2010	8	1,25	10	12,06
2011	8	1,25	10	12,06
2012	18	0,98	17,64	24,23
2013	7	1,31	9,17	10,84
2014	8	1,25	10	12,06
2015	10	1,06	11,66	14,56
2016	15	1	15	19,85
2017	15	1	15	19,85
2018	8	1,25	10	12,06

Sumber : Hasil Olahan Data BMKG, 2019

Analisis data pasang surut

data pasang surut yang digunakan selama 5 tahun (2014, 2015, 2016, 2017, 2018) yaitu :

Muka air rata-rata (*mean water level*)

=0,7meter

Muka air rendah (*low water level*)

=0,1meter

muka air tinggi (*high water level*)

=1,4 meter

Penelitian ini mendesain bangunan *breakwater* tipe campuran pada kedalaman yang berkisar 7 meter di bawah permukaan laut, sehingga nilai kedalaman air di lokasi rencana bangunan diperhitungkan kedalaman air berdasarkan nilai muka air tinggi dan muka air rendah, yaitu:

$$d_{HWL} = 1,4 - (-7) = 8,4 \text{ meter}$$

$$d_{LWL} = 0,1 - (-7) = 7,1 \text{ meter}$$

$$d_{MWL} = 0,7 - (-7) = 7,7 \text{ meter}$$

Sehingga dalam perhitungan selanjutnya, nilai d_{HWL} dianggap sebagai kedalaman air (d) dengan nilai $d = 8,4$ m.

Perhitungan refraksi

Kedalaman laut merupakan faktor yang menyebabkan terjadinya refraksi, untuk menghitung refraksi yang terjadi dilaut sebelumnya dilakukan perhitungan panjang gelombang dilaut dalam terlebih dahulu. Nilai periode gelombang adalah nilai periode terbesar dari tahun 2009-2018, yaitu 7,56 detik.

$$L_0 = \frac{gT^2}{2\pi}$$

$$L_0 = \frac{9,81 \times 7,56^2}{2\pi}$$

$$L_0 = 89,28 \text{ meter}$$

Maka panjang gelombang yang terjadi di laut sebesar 89,28 m. Selanjutnya dapat diperhitungkan nilai cepat rambat gelombang di laut dalam (C_0) dengan rumus berikut.

$$C_0 = \frac{L_0}{T_s}$$

$$C_0 = \frac{89,28}{7,56}$$

$$C_0 = 11,81 \text{ m/s}$$

Dari perhitungan didapat cepat rambat gelombang di laut dalam (C_0) Selanjutnya menghitung nilai $\frac{d}{L_0}$, dengan nilai $d = 8,4$ meter.

$$\frac{d}{L_0} = \frac{8,40}{89,28} = 0,0941$$

Dari Tabel $\frac{d}{L_0}$ pada lampiran 6, $\frac{d}{L}$ nilai = 0,13582 dengan nilai $K_s = 0,938$.

$$\frac{d}{L} = 0,13582$$

$$L = \frac{8,40}{0,13582}$$

$$L = 61,848 \text{ meter}$$

Panjang gelombang (L) adalah 61,848 meter, kemudian dapat dihitung nilai cepat rambat gelombang (C) :

$$C = \frac{L}{T}$$

$$C = \frac{61,848}{7,56}$$

$$C = 8,133 \text{ m/s}$$

Cepat rambat gelombang (C) adalah 8,133 m/det.

$$\sin \alpha_1 = \left(\frac{C}{C_0} \right) \sin \alpha_0$$

dimana α_0 sudut antara garis puncak gelombang di laut dalam dan garis kontur dasar laut

$$\alpha = \frac{8,133}{11,81} \sin 50^\circ = 0,527 = 31,803^\circ$$

Maka didapat koefisien refraksinya, yaitu :

$$Kr = \sqrt{\frac{\cos \alpha_0}{\cos \alpha}}$$

$$Kr = \sqrt{\frac{\cos 50^\circ}{\cos 31,803^\circ}} = 0,869$$

Jadi didapatkan koefisien refraksi sebesar 0,869.

Perhitungan Tinggi di Laut Dalam Ekuivalen (H'_0)

Ekuivalen tinggi gelombang laut dalam dihitung dengan rumus :

$$H'_0 = Kr \times H_0$$

Dimana dari perhitungan sebelumnya didapat:

$$H_0 = 4,098 \text{ m}$$

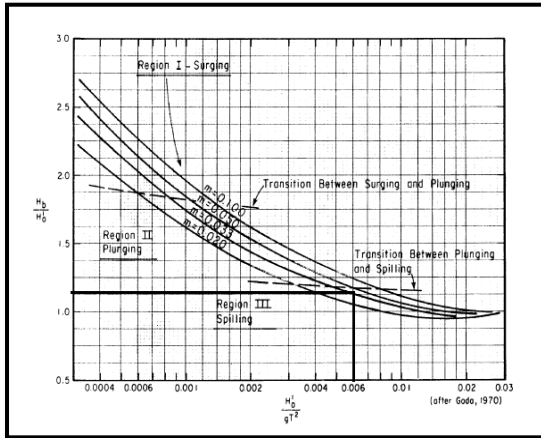
$$\text{Koefisien refraksi (Kr)} = 0,869$$

Maka,

$$H'_0 = 0,869 \times 4,098 = 3,561 \text{ m}$$

Perhitungan Tinggi Gelombang Pecah

$$\frac{H'_0}{gT^2} = \frac{3,561}{9,81 \times 7,56^2} = 0,006$$



Gambar 5. Grafik Tinggi Gelombang Pecah (Shore Protection Manual, 1984)

Berdasarkan grafik diatas didapatkan nilai $\frac{H'_0}{gT^2} = 0,006$. Kemudian mencari tinggi gelombang pecah sebagai berikut :

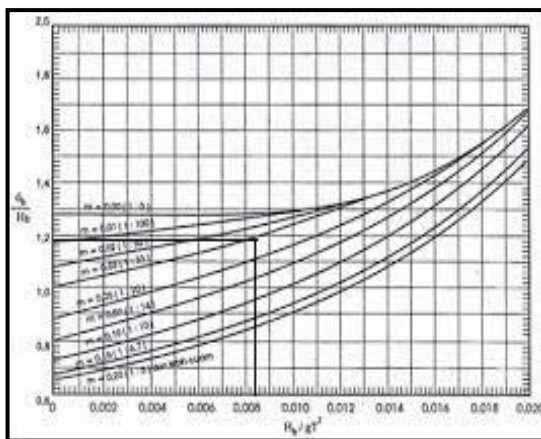
$$\frac{H_b}{H'_0} = 1,125$$

$$H_b = 1,125 \times 3,561$$

$$H_b = 4,006 \text{ meter}$$

Setelah diperoleh nilai H_b maka selanjutnya mencari nilai d_b , berikut adalah langkah-langkah mencari nilai d_b :

$$\frac{H'_0}{gT^2} = \frac{3,561}{9,81 \times 7,56^2} = 0,0064$$



Gambar6. Penentuan Kedalaman Gelombang Pecah (Shore Protection Manual, 1984)

Berdasarkan Gambar 6, maka diperoleh nilai $\frac{d_b}{H_b} = 1,18$ meter.

$$\frac{d_b}{H_b} = 1,18$$

$$d_b = 1,18 \times 4,006$$

$$d_b = 4,727 \text{ meter}$$

J. Inersia 12(1)18-29

Perhitungan *breakwater* tipe campuran

Bangunan *breakwater* tipe campurandibuat apabila kedalaman air sangat besar dan tanah dasar tidak mampu menahan beban dari pemecah gelombang sisi tegak dan digunakan pada kedalaman air yang besar apabila pemecah gelombang sisi miring dan sisi tegak dinilai tidak ekonomis. Bahan yang digunakan pada *breakwater* tipe campuran merupakan kombinasi dari kedua tipe sebelumnya yaitu sisi miring dan sisi tegak (Tanimoto, 1994).

Penentuan elevasi puncak pemecah gelombang (*breakwater*)

Elevasi puncak bangunan memperhitungkan tinggi jagaan (fb) 0,5 meter, dengan menggunakan persamaan:

$$El_{Pem.Gel} = HWL + R_u + \text{tinggi kebebasan}$$

Run-up gelombang adalah level pencapaian tertinggi gelombang laut pada sebuah struktur yang mempunyai permukaan miring, diukur secara vertikal dari muka air diam (*Still Water Level*, SWL) (Duani, 2016).

Besar koefisien *run-up* gelombang pada *breakwater* didapatkan dari fungsi bilangan Iribaren. Tinggi gelombang rencana pada struktur diambil dari tinggi gelombang pecah. Kemiringan sisi pemecah gelombang ditetapkan sebesar 1:3.

Tinggi muka air tertinggi (HWL) = 1,4 meter

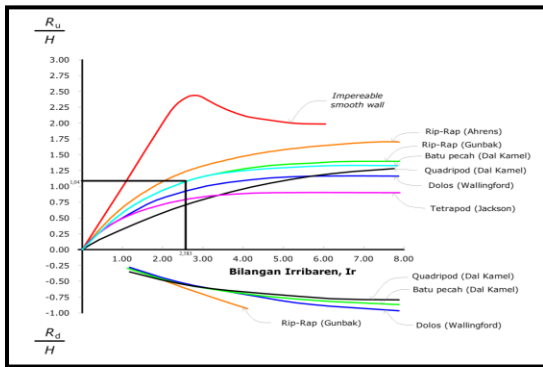
Tinggi gelombang Pecah (H)= 3,34 meter

Periode gelombang (T)= 7,56 detik

Tinggi gelombang laut dalam (Lo)= 89,16 m

Bilangan Iribaren :

$$I_r = \frac{\tan \theta}{\left(\frac{H}{L_0}\right)^2} = \frac{1/2}{\left(\frac{3,34}{89,16}\right)^2} = 2,583 \text{ meter}$$



Gambar 7. Grafik *Run-up* Gelombang (Triadmojo, 1999)

Pada Gambar 7 dilihat *run up* untuk lapis lindung dari batu pecah adalah:

$$\frac{R_u}{H} = 1,04$$

$$R_u = 1,04 \times 3,34 = 3,474 \text{ meter}$$

Sehingga elevasi puncak groin dapat dihitung sebagai berikut :

$$El_{\text{Pem.Gel}} = HWL + R_u + \text{tinggi kebebasan}$$

$$El_{\text{Pem.Gel}} = 1,4 + 3,474 + 0,5$$

$$El_{\text{Pem.Gel}} = 5,374 \text{ meter}$$

Jadi, elevasi pemecah gelombang sisi miring ($El_{\text{Pem.Gel}}$) adalah 5,374 meter.

Analisis berat lapis lindung

Menghitung berat dan tebal lapis lindung sisi miring dengan batu pecah untuk nilai Koefisien Stabilitas (K_D) berdasarkan *Shoore Protection Manual* 1984 menggunakan rumus sebagai berikut :

$$\text{Bagian lengan} \quad K_D = 4$$

$$W = \frac{\gamma_b H^3}{K_D (S_r - 1)^3 \cot \theta}$$

Keterangan:

W = Berat butir batu pelindung (ton)

γ_r = Berat jenis batu (beton 2,6 t/m³)

γ_a = Berat satuan air laut (1,03 ton/m³)

H = Tinggi gelombang rencana (m)

θ = Sudut kemiringan sisi pemecah gelombang (...°)

K_D = Koefisien stabilitas batupelindung

Analisis lapisan lindung breakwater bagian lengan atau badan bangunan

Lapisan pelindung pertama:

$$W_1 = \frac{2,60 \times 3,34^3}{4,0 \times \left(\frac{2,60}{1,03} - 1\right)^3 \times 2} = 3,419 \text{ ton}$$

Lapisan pelindung kedua:

$$\frac{W}{10} = \frac{3,419}{10} = 0,3419 \text{ ton} = 341,90 \text{ kg}$$

Berat batu lapis inti (core) :

$$\frac{W}{200} = \frac{3,419}{200} = 0,017 \text{ ton} = 17,09 \text{ kg}$$

Analisis lebar pemecah gelombang

Untuk menentukan lebar puncak groin digunakan rumus :

$$B = n K_\Delta \left(\frac{W}{\gamma_r} \right)^{\frac{1}{3}}$$

Dimana :

B = lebar puncak (m)

n = jumlah butir batu

K_Δ = koefisien lapis (tabel lampiran 9)

W = berat butir lapis pelindung badan (3,419 ton)

γ_r = berat jenis batu pelindung (2,60 ton/m³)

Bagian lengan atau badan :

$$B = n K_\Delta \left(\frac{W}{\gamma_r} \right)^{\frac{1}{3}} = 2 \times 1,15 \times \left[\frac{3,419}{2,60} \right]^{\frac{1}{3}} = 2,52 \text{ m}$$

Analisis tebal lapis lindung

Tebal lapis lindung dihitung dengan menggunakan rumus :

$$t = n K_\Delta^3 \sqrt{\frac{W}{\gamma_b}}$$

Dimana :

t = tebal lapis lindung (m)

n = jumlah lapis lindung (tabel lampiran XII)

K_Δ = koefisien lapis lindung (tabel lampiran XII)

W = berat butir lapis pelindung badan (3,419 ton)

γ_b = berat jenis batu lapis lindung (2,60 ton/m³)

Analisis Tebal lapisan lindung bagian lengan atau badan bangunan *breakwater*, sebagai berikut:

Lapisan pelindung pertama:

$$t_1 = nK_{\Delta} \sqrt[3]{\frac{W}{\gamma_b}} = 2 \times 1,15 \sqrt[3]{\frac{3,419}{2,60}} = 2,519 \text{ meter}$$

Lapisan pelindung kedua:

$$t_2 = nK_{\Delta} \sqrt[3]{\frac{W}{\gamma_b}} = 2 \times 1,15 \sqrt[3]{\frac{0,3419}{2,60}} = 1,169 \text{ meter}$$

Analisis pelindung kaki

Batu pelindung terdiri dari batu pecah dengan berat sebesar $\frac{W}{10}$.

Perhitungan berat batu pelindung:

$$\frac{W}{10} = \frac{3,419}{10} = 0,3419 \text{ ton} = 341,90 \text{ kilogram}$$

Analisis lebar pelindung kaki dapat dihitung dengan rumus:

$$B = 2 \times H$$

Perhitungan lebar kaki:

$$B = 2 \times 3,34$$

$$= 6,68 \text{ meter}$$

Analisis jumlah batu lapis lindung

Jumlah batu lapis lindung dengan rumus:

$$N = AnK_{\Delta} \left(1 - \frac{P}{100}\right) \left(\frac{\gamma_b}{W}\right)^{\frac{2}{3}}$$

Dimana :

N = jumlah butir batu untuk satu satuan luas permukaan

A = luas permukaan (10 m²)

N = jumlah butir lapis lindung tiap satuan luas (tabel lampiran 9)

K_Δ = koefisien lapis lindung (tabel lampiran 9)

P = porositas rerata dari lapis pelindung (tabel lampiran 9)

γ_b = berat jenis batu lapis lindung (2,60 ton/m³)

W = berat butir lapis pelindung badan (3,419 ton)

Analisis jumlah batu lindung bagian lengan atau badan bangunan *breakwaters* sisi miring

$$N = AnK_{\Delta} \left(1 - \frac{P}{100}\right) \left(\frac{\gamma_b}{W}\right)^{\frac{2}{3}}$$

$$N = 10 \times 2 \times 1,15 \times \left(1 - \frac{37}{100}\right) \left(\frac{2,60}{3,419}\right)^{\frac{2}{3}} = 12,072 \text{ butir} \approx 12 \text{ butir}$$

Jadi, jumlah batu lindung bagian lengan atau badan bangunan *breakwater*(N) tiap satuan luas 10 m² adalah 12 butir batu.

Perhitungan Pemecah Gelombang Sisi Tegak

Panjang dan tinggi gelombang

Dari perhitungan yang telah dilakukan sebelumnya, diketahui nilai-nilai sebagai berikut:

Tinggi gelombang signifikan (H_S)

$$= 3,34 \text{ meter}$$

Periode gelombang signifikan (T_S)

$$= 7,56 \text{ detik}$$

Tinggi gelombang di laut dalam (L₀)

$$= 89,28 \text{ meter}$$

Tinggi gelombang ekuivalen (H'₀)

$$= 3,561 \text{ meter}$$

Kemudian dilakukan perhitungan sebagai berikut:

$$\frac{H'_0}{L_0} = \frac{3,561}{89,28} = 0,0397$$

$$\frac{d}{L_0} = \frac{8,40}{89,28} = 0,0941$$

Menghitung nilai kedalaman gelombang menggunakan persamaan (2.41):

$$d_{bw} = d + 5mH_S$$

$$d_{bw} = 8,40 + 5 \times \frac{1}{20} \times 3,34 = 9,235 \text{ meter}$$

Nilai tinggi gelombang maksimum (H_{max}) didapat dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$H_{\max} = 1,8H_S$$

$$H_{\max} = 1,8 \times 3,34 = 6,012 \text{ meter}$$

Tekanan gelombang

Nilai $\frac{d}{L} = 0,13582$, nilai $\left(\frac{4\pi d}{L}\right) = 1,7068$, nilai $\sinh\left(\frac{4\pi d}{L}\right) = 2,6649$, dan nilai $\cosh\left(\frac{2\pi d}{L}\right) = 1,3868$. Dihitung koefisien tekanan gelombang:

Koefisien tekanan gelombang α_1

$$\alpha_1 = 0,6 + \frac{1}{2} \left\{ \frac{\left(\frac{4\pi d}{L}\right)}{\sinh\left(\frac{4\pi d}{L}\right)} \right\}^2$$

$$\alpha_1 = 0,6 + \frac{1}{2} \left\{ \frac{1,7068}{2,6649} \right\}^2 = 0,805$$

Koefisien tekanan gelombang α_2

$$\alpha_2 = \min \left\{ \frac{d_{bw} - h}{3d_{bw}} \left(\frac{H_{max}}{h} \right)^2, \frac{2d}{H_{max}} \right\}$$

$$\frac{d_{bw} - h}{3d_{bw}} \left(\frac{H_{max}}{h} \right)^2 = \frac{9,235 - 3,03}{3 \times 9,235} \times \left(\frac{6,012}{3,03} \right)^2 = 0,885$$

$$\frac{2d}{H_{max}} = \frac{2 \times 8,40}{6,012} = 2,794$$

$$\alpha_2 = \min \{0,885, 2,794\}$$

$$\alpha_2 = 0,885$$

Koefisien tekanan gelombang α_3

$$\alpha_3 = 1 - \frac{d'}{d} \left\{ 1 - \frac{1}{\cosh\left(\frac{2\pi d}{L}\right)} \right\}$$

$$\alpha_3 = 1 - \frac{4,82}{8,40} \left\{ 1 - \frac{1}{1,3868} \right\} = 0,840$$

Jadi, dari hasil perhitungan didapatkan nilai koefisien bangunan *breakwater* adalah $\alpha_1 = 0,805$, $\alpha_2 = 0,885$, $\alpha_3 = 0,840$. Perhitungan tekanan gelombang dihitung dengan rumus (3.37), (3.38), (3.39) sebagai berikut:

Tekanan gelombang p_1

$$p_1 = \frac{1}{2} (1 + \cos \beta) (\alpha_1 + \alpha_2 \cos^2 \beta) \gamma_0 H_{max}$$

$$p_1 = \frac{1}{2} (1 + \cos 15^\circ) (0,805 + 0,885 \cos^2 15^\circ) \times 1,03 \times 6,012 = 10,273 \text{ t/m}^2$$

Elevasi maksimum dimana tekanan gelombang bekerja

$$n^* = 0,75 (1 + \cos \beta) H_{max}$$

$$n^* = 0,75 (1 + \cos 15^\circ) \times 6,012 = 8,864$$

$$d_c^* = \min \{n^*: d_c\}$$

$$d_c^* = \min \{8,864: d_c\} \rightarrow d_c^* = 3$$

$$n^* > d_c \rightarrow p_4 = p_1 \left(1 - \frac{d_c}{n^*} \right)$$

$$p_4 = p_1 \left(1 - \frac{d_c}{n^*} \right)$$

$$p_4 = 10,273 \times \left(1 - \frac{3}{8,864} \right) = 6,795 \text{ t/m}^2$$

Selanjutnya, hitung gaya gelombang dan momen.

$$p = \frac{1}{2} (p_1 + p_3) d' + \frac{1}{2} (p_1 + p_4) d_c^*$$

$$p = \frac{1}{2} \times (10,273 + 8,628) \times 4,82 + \frac{1}{2} \times (10,273 + 6,795) \times 3 = 71,154 \text{ t}$$

$$M_p = \frac{1}{6} (2p_1 + p_3) d'^2 + \frac{1}{2} (p_1 + p_4) d' d_c^* + \frac{1}{6} (p_1 + 2p_4) d_c^{*2}$$

$$M_p = \frac{1}{6} (2 \times 10,273 + 8,628) \times 4,82^2 + \frac{1}{2} (10,273 + 6,795) \times 4,82 \times 3 + \frac{1}{6} \times 258,465 \text{ tm}$$

Gaya angkat dan momennya terhadap ujung belakang kaki bangunan dengan lebar dasar elevasi bangunan vertical (B) = 2,52 meter adalah sebagai berikut:

$$U = \frac{1}{2} \times P_u \times B$$

$$U = \frac{1}{2} \times 4,116 \times 2,52 = 5,186 \text{ t}$$

$$M_u = \frac{2}{3} \times U \times B$$

$$M_u = \frac{2}{3} \times 5,186 \times 2,52 = 8,712 \text{ tm}$$

Jadi, gaya angkat (U) adalah sebesar 5,186 ton dan momennya (M_u) adalah sebesar 8,712 tonmeter.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perhitungan dalam penelitian ini maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Berdasarkan hasil penelitian analisis struktur bangunan *breakwater* tipe campuran di pelabuhan Teluk Bayur Kota Padang melalui perhitungan yang telah dilakukan, maka ditarik kesimpulan nilai tinggi gelombang signifikan (H_s) yang didapat dari pengolahan data angin adalah sebesar 3,34 meter dengan periode gelombang signifikan (T_s) sebesar 7,56 detik. Elevasi muka air yang didapat dari pengolahan data pasang surut adalah muka air tinggi (HWL) sebesar 1,4 meter, muka

- air rata-rata (*MWL*) sebesar 0,7 meter, dan muka air rendah (*LWL*) sebesar 0,1 meter.
2. Berdasarkan pengukuran di lapangan bahwa desain lama (*existing*) *breakwater* tipe campuran dengan dimensi lebar puncak pemecah gelombang (*B*) 3 meter, elevasi puncak pemecah gelombang sisi miring 2 meter dan lapis batu pelindung (50 – 100 kg (40%) dan 600 – 900 kg (60%)). Berdasarkan hasil analisis perhitungan dari tinggi gelombang yang didapatkan melalui perbandingan antara angin dari BMKG dan hasil penelitian langsung di lapangan, maka didapatkan Elevasi pondasi pemecah gelombang (*breakwater*) sisi miring adalah 5,374 meter. Pondasi pemecah gelombang merupakan pemecah gelombang tumpukan batu (sisi miring) terdiri batu pecah bersudut kasar dengan berat butir lapis lindung yang terdiri dari 3 lapis ketebalan yaitu, berat butir lapis lindung lapis 1 (W_1) = 3,419 ton, berat butir lapis lindung lapis 2 (W_2) = 341,93 kg, dan berat butir lapis lindung lapis 3 (W_3) = 17,09 kg. Tebal lapis 1 (t_1) = 2,519 meter dan tebal lapis 2 (t_2) = 1,169 meter. Lebar puncak pemecah gelombang (*breakwater*) *B* = 3,29 meter. Gaya tekanan gelombang (*p*) adalah sebesar 71,154 ton dan momennya (M_p) adalah sebesar 258,465 tonmeter. Gaya angkat (*U*) adalah sebesar 5,186 ton dan momennya (M_U) adalah sebesar 8,712 tonmeter.

DAFTAR PUSTAKA

- CERC. 1984. *Shore Protection Manual Volume 1*. US Army Coastal Engineering, Research Center. Washington.
- CERC., 1984. *Shore Protection Manual Volume 2*. US Army Coastal Engineering, Research Center. Washington
- Duani, K, P., 2016. *Analisis Struktur Bangunan Pengaman Pantai Air PadangKecamatan Lais Bengkulu Utara*. Skripsi. Program Studi Teknik Sipil.Bengkulu: Universitas Bengkulu.
- Kramadibrata, S., 1985. *Perencanaan Pelabuhan*. Bandung: Ganesha Exacta.
- Reeve, D., Chadwick, A., dan Fleeming, C., 2004. *Coastal Engineering: Processes, Theory and Design Practice*. Spon Press. USA.
- Rifardi., 2012. *Studi Abrasi Pantai Padang Kota Padang Provinsi Sumatera Barat*. Skripsi. Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan. Riau: Universitas Riau.
- Tanimoto, K dan Takahashi, S., 1994. *Design and Construction of Caisson Breakwater – the Japanese Experience*.Jurnal Teknik Pantai. Volume 22. Elsevier.
- Triatmodjo, B., 1999. *Teknik Pantai*. Yogyakarta: Beta Offset